2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

북미향 CDMA단말기용 PCB 임베디드된 트리플렉서와 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈

임성표, 천성종, 박재영
마이크로/나노 소자 및 패키징 연구실, 전자공학과, 광운대학교, 서울

PCB Embedded Triplexer and Dual band/Tri-mode RF Module for US CDMA Handset Applications

Sung P. Lim, Seong J. Cheon, and Jae Y. Park
Micro/Nano Devices & Packaging Lab. Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul

Abstract - 본 논문에서는 내장된 수동형 트리플렉서와 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈을 PCB에 내장시켜서 북미향 CDMA용 부품으로 제작하였다. 수동형 트리플렉서는 모든 수동 소자들을 다층 PCB 기판 안에 내장시키고 그 위에 GPS용 SAW 대역통과필터를 이용하여 설계 및 제작하였다. 8개의 인덕터와 커패시터로 이루어진 수동 회로는 다이플렉서와 병렬 공진기, 임피던스 매칭 회로로 구성되어 있다. CDMA용 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈은 트리플렉서와 CDMA, PCS용 듀플렉서를 테스트 보드 위에 조합하여 제작하였다. 측정된 주파수 특성들은 시뮬레이션 값과 비교적 일치하였다. 트리플렉서와 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈은 각기 3 x 4mm^{2}와 7 x 7mm^{2}의 작은 크기였다. 설계 및 제작된 소자들은 고성능과 경박단소화, 저가화 등의 이점이 있기 때문에, 북미향 CDMA용 단말기의 응용부품에 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

1. 서 론

트리플밴드 CDMA용 단말기가 US시장에서 널리 사용되고 있기 때문에 수많은 연구진들이 경박단소화와 저가화, 다기능화가 가능한 Front-end module (FEM)개발에 주력하고 있다. 특히, 최근 소비자들의 요구에 따라 보다 작고 얇은 단말기들을 필요로 하게 되는데, 이러한 요구를 실현하기 위해서는 소자와 RF 모듈들을 한층 높은 수준으로 집적화하는 패키징 기술을 요하게 된다. 그림 1은 북미향 CDMA용 단말기의 RF시스템 블록 다이어그램이다. 그림 1과 같이 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈은 CDMA와 US-PCS용 2개의 듀플렉서와 GPS용 대역통과필터, 그리고 각 밴드 (CDMA와 PCS, GPS) 신호를 분리해주는 능동형 스위치로 구성되어 있다.

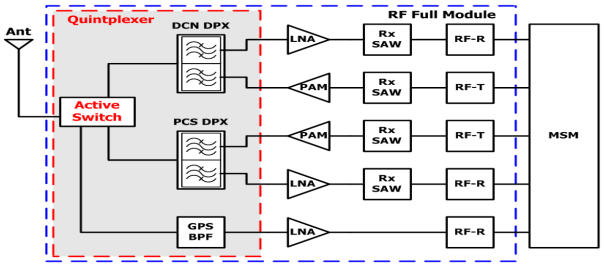
이러한 수요에 따라 많은 연구진들은 능동 또는 수동형으로 구성된 트리플렉서와 트리플밴드 FEM들의 연구개발을 꾸준히 진행하고 있다. 먼저 능동형 트리플렉서를 살펴보면 SP3T나 SPDT능동형 스위치를 패키징 기판 위에 몇 개의 수동소자들과 함께 조합하여 설계하게 된다. 하지만 모바일 주파수와 GPS 주파수 수신을 동시에 수행할 수 없고, 능동 스위치를 제어하기 위한 전압을 필요로 하는 단점이 있다.[1-2] 이런 능동형 외에 수동 소자 및 회로로 이루어진 수동형 트리플렉서는 높은 선형성과 함께 동시적인 기능을 수행하며 외부 전압이 필요 없다는 장점을 갖고 있어 많은 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이러한 수동형 FEM의 연구 동향에는 크게 두 가지가 있는데, 먼저 소형화와 고집적화를 이룬 LTCC 기반의 수동형 트리플렉서와 트리플 밴드 FEM이 최근 학회에 보고된바 있다. 하지만 LTCC는 PCB 기반의 메인 보드와의 접합도가 낮다는 단점을 갖고 있다.[3-4] 다음으로 수동형 평면 FBAR 멀티플렉서가 우수한 동작 특성으로 개발되고 있으나, 회로 내의 FBAR 대역통과필터가 갖는 주파수 응답 특성에 의존하여 설계해야 하기 때문에, 우수한 FBAR 대역통과필터 개발이 선행 되어야 한다는 제약이 따른다.[5]

본 논문에서는, 고집적화와 우수한 동작 특성을 목표로 수동 소자들을 다층기판에 내장하는 방식을 이용한 수동형 트리플렉서를 설계 및 제작하여, 측정 및 분석하고, 이를 토대로 하여 CDMA단말기용 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈에 응용하였다. 크기와 두께를 줄이기 위해서 회로를 구성하는 수동 소자의 개수를 최소화하였고, 제안된 수동 회로를 다층 패키징 기판 안에 내장하였다. 주파수특성의 향상을 위해 고품질계수의 적층형 인덕터와 고유전율의 $BaTiO_3$ MIM 커패시터를 사용하였다.

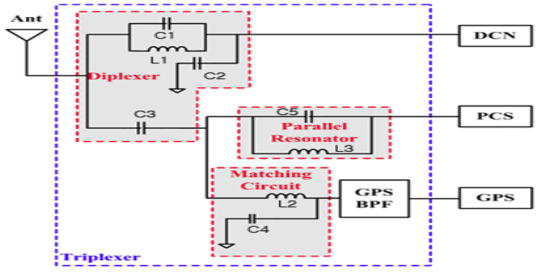
2. 본 론

2.1 설계

그림 2는 다층 PCB에 내장하기 위해 제안된 수동형 트리플렉서 회로이다. 3개의 인덕터와 5개의 커패시터의 조합으로 이루어진 제안된 트리플렉서는 한 개의 다이플렉서와 임피던스 매칭회로,LC 병렬공진회로로 구성되어 있다. 고주파수 밴드와 CDMA 밴드의 신호를 분리시켜주는 다이플렉서는 CDMA 단자와 GPS/US-PCS 단자 사이에 위치하며, 4개의 인덕터와 커패시터 조합으로 구성되어 있다. C3은 GPS와 US-PCS 단자에 저역신호를 저지시키기 위해 삽입되었고, L1과 C1로 구성된 LC 병렬공진회로는 GPS와 US-PCS 신호가 CDMA 단자로 통과되는 것을 효과적으로 감쇄시키는 역할을 한다. 병렬공진회로 후단의 접지면으로 연결된 C2는 앞단의 LC 병렬회로와 조합하여 CDMA용 저역통과필터의 역할을 하게 된다.



<그림 1> 북미향 CDMA용 단말기의 RF 시스템 블록도



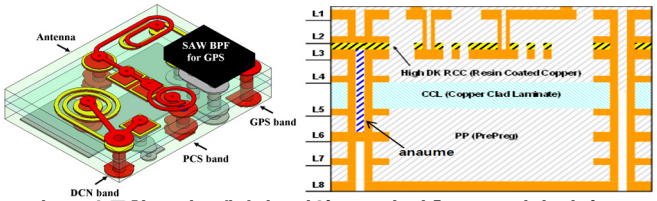
<그림 2> 제안된 다층 PCB에 내장된 수동형 트리플렉서의 회로도

L2와 C4는 GPS용 대역통과필터의 임피던스 매칭의 역할을 하는 동시에US-PCS의 신호가 GPS 단자로 통과되는 것을 막기 위한 저역통과필터의 역할도 수행하며, GPS용 SAW 대역통과필터와 다른 통과 대역과의 Phase Correlation을 확보하게 된다. 저역통과필터와 연결된 GPS SAW 대역통과필터는 협대역의 GPS 통과특성을 확보하게 된다. L3와 C5로 구성된 LC 병렬공진회로는 US-PCS 단자로 통과되는 GPS 신호를 저지하는 역할을 하며, 직렬공진회로에 비해 US-PCS 대역에 낮은 삽입 손실을 가지며 소형화가 가능하다. 또한, 직렬공진회로로 구현할 경우, 인덕터는 9.1nH의 인덕턴스를 갖지만 병렬공진회로의 인덕터는 1.6nH의 인덕턴스로 동일한 감쇄 특성을 보이므로 내장형 인덕터 설계에 적합하다.[4] 수동형 트리플렉서 회로는 Agilent사의 Advanced Design System 설계 프로그램으로 회로 설계 및 분석을 통해 수동소자의 용량 값을 추출하였으며, 그림 3에서 보는바와 같이 CST사의 Computer Simulation Technology EM 해석 프로그램으로 3차원 구조의 수동형 트리플렉서를 최적화하였다.

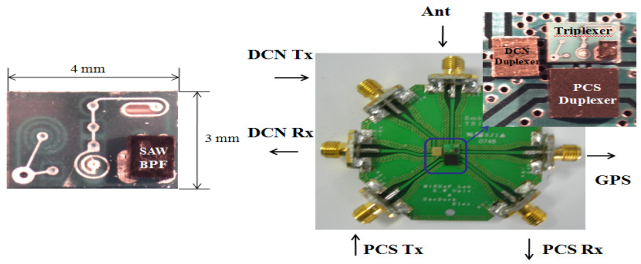
2.2 제작

수동형 트리플렉서를 구현하고자 8층 구조의 다층 PCB에 구현하였다. 그림 3의 단면도처럼 8층의 PCB 구조로 하여, 유전율 4.4, 유전손실 0.03, 두께 400um의 CCL(4-5층)과 을 사용하였고, 유전율 4.1, 유전손실 0.02, 두께 90um의 Prepreg(1-2/3-4/5-8층)를 사용하였다. 수동형 트리플렉서 회로의 커패시터를 설계하기 위해 유전율 22.4, 유전손실 0.03, 두께 16um인 고유전율의 RCC(2-3층)를 사용하였다. 위아래에 copper(4, 5층)가 입혀진 Core Layer(CCL)에 4, 5층의 패턴을 형성하고, 4, 5층 위

에 PP나 RCC를 덮고 압력을 가하여 부착했다. 그 위를 copper(3, 6층)로 도금하고, 패턴을 형성했다. 또다시 3, 6층 위에 고유전율을 가진 high Dk RCC를 입히고 패턴을 형성했다.



〈그림 3〉 수동형 트리플렉서의 3차원 구조와 다층 PCB 기판 단면도



(a) (b)

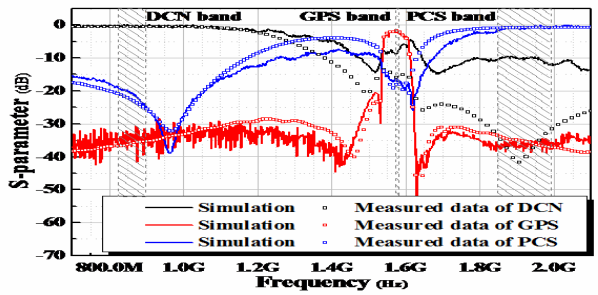
〈그림 4〉 사진 (a)다층 PCB에 내장된 수동형 트리플렉서 (b)듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈

그림 4는 8층 PCB에 내장된 수동형 트리플렉서와 이를 응용한 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈의 제작된 사진이다. 제작된 트리플렉서와 RF 모듈의 크기는 4.0 x 3.0 x 1.2 mm^3 와 7.0 x 7.0 x 1.7 mm^3이다.

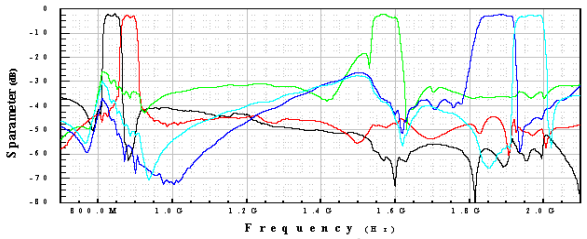
2.3 결과 및 분석

제작된 트리플렉서와 RF 모듈은 HP 8510B 네트워크 분석기를 이용하여 측정 및 특성을 살펴보았다. 측정 주파수대역은 CDMA와 GPS, PCS 대역을 포함하는 0.7GHz ~ 2.1GHz로 설정하였다. 그림 5는 제안된 내장형 트리플렉서의 3D EM 시뮬레이션 결과와 측정된 동작 특성이다. 측정 결과 CDMA, GPS, PCS대역의 삽입손실은 각각 0.4 dB, 1.7 dB, 1.3 dB이고 Isolation은 10 dB, 24 dB, 21 dB였다. 하지만 그림 5에서 볼 수 있듯이 CDMA 대역 Isolation의 측정 결과가 10 dB로 시뮬레이션 결과와 잘 일치 되지 않았는데 이것은 공정상에 오차로 커패시턴스 용량이 변화하여 발생된 것으로 판단된다. 다음으로, 그림 6은 트리플렉서와 CDMA/PCS 듀플렉서와 조합하여 설계한 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈에 동작 특성을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그림 5를 통해 CDMA Tx와 Rx 밴드의 삽입 손실은 각기 2.2 dB와 2.9 dB임을 알 수 있었고, Isolation은 Tx밴드에서 40 dB, Rx밴드에서 44 dB임을 알았다. PCS Tx와 Rx밴드의 삽입손실은 각기 3 dB와 2.7 dB 였고, Isolation은 Tx밴드에서 52 dB, Rx 밴드는 42 dB임을 알았다. 그리고 GPS 밴드의 삽입 손실은 2.4 dB였다.

표 1은 CDMA 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈에 측정 및 시뮬레이션된 주요 동작 특성 Parameter들을 정리한 것이다. 그림 5와 표 1에서 볼 수 있듯이 CDMA 밴드에서의 측정된 Isolation이 시뮬레이션된 결과와 잘 매치되지 않았다. 이런 Isolation에 불일치는 GPS SAW 필터의 그라운딩에서 발생되는 예기치 못한 기생 인덕턴스 성분 때문인 것으로 예측된다.[4] 또한, $BaTiO_3$ MIM 커패시터를 제작하는 공정에서 커패시턴스 값에 변화가 발생하였다. 내장된 인덕터와는 다르게 내장된 커패시턴스 측정값이 공정 오차로 인해 설계했던 것보다 다소 낮게 제작되었던 것이다. 이 커패시턴스 오차는 공정 오차와 커패시터 구조를 알맞게 제어함으로서 교정할 수 있을 것이다. 또한, 많은 그라운드 VIA를 GPS SAW 필터 아래쪽에 추가하여 동작 특성을 개선시킬 수 있을 것으로 보인다.



〈그림 5〉 내장형 트리플렉서의 동작 특성



〈그림 6〉 내장형 트리플렉서와 CDMA/PCS 듀플렉서를 조합하여 제작된 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈의 동작 특성

〈표 1〉 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈의 계산치와 측정치의 특성 비교

항목	형식	CDMA		US-PCS		GPS
		Tx	Rx	Tx	Rx	
삽입 손실 ($dB_{max.}$)	계산치	-2.4	-2.97	-2.6	-3.6	-2.1
	측정치	-2.2	-2.9	-3	-2.7	-2.4
격리도 ($dB_{min.}$)	계산치	-52.7	-35.6	-55.4	-47.6	-38.6
	측정치	-40	-44	-55	-45	-37

3. 결 론

다층 PCB에 내장한 수동형 트리플렉서를 새롭게 설계 및 제작하고 측정 및 분석을 통해 동작 특성을 확인해 보았다. 개발된 트리플렉서는 US CDMA단말기용 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈에 최소화 구현을 위해 CDMA/PCS 듀플렉서를 함께 조합하여 이를 최종 평가해 보았다. 수동형 트리플렉서와 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈은 먼저 ADS 선형 회로 시뮬레이터에 의해 사용된 수동 소자들에 Parameter 값들을 얻어내었다. 그리고 3D구조는 PCB 내장형 수동소자 Library 와 3D-EM 시뮬레이션 프로그램을 이용한 해석을 통해 최적화여 설계 하였다. 대부분에 시뮬레이션된 동작 특성들은 측정된 데이터와 잘 일치되었다. 제작된 수동형 트리플렉서와 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈은 우수한 동작 특성, 소형화, 저가 그리고 PCB에 내장하여 고직접화되기 때문에 고성능 CDMA단말기용으로 향후 전망이 높을 것으로 예측된다. 또한 이런 설계와 제작 기술은 보다 진보적인 RF 부품과 모듈 개발에 효과적일 것으로 기대된다.

현재 PCS FBAR 듀플렉서를 패키징된 칩이 아닌 Bare상태로 Tx와 Rx FBAR를 분리하여 공간을 보다 효율적으로 사용하고 각각의 Helping 인덕터들을 PCB에 내장하는 최적화된 설계방법을 통한 제작 및 검증이 진행되고 있다. 향후 CDMA 듀플렉서도 Bare 상태로 Tx와 Rx를 분리하여 설계함으로서 모든 커패시터와 인덕터들을 PCB 내장하고 경박단소화 시켜 최종적으로 6.0 x 4.0 x1.2 mm^3크기의 듀얼 밴드/트라이모드 RF 모듈을 설계할 계획이다.

[감사의 글]

본 연구는 Seoul Research and Business Development Program (Grant No.10583)과 한국 과학기술부의 지능형 RF연구센터(Communication and Intelligent RF Engineering Research Center(ERC))의 지원을 받아 수행됨.

[참 고 문 헌]

[1] Y. Lin, C. Liu, K. Li, C. H. Chen, "Design of an LTCC tri-band transceiver module for GPRS mobile applications," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 52, no. 12, pp. 2718-2724, Dec 2004.

[2] E. P. de Assuncao, L. de Mendes, H. Abdalla Jr., "Microwave multiplexers using complementary triplexer filters," 1999 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Proc., pp. 169-173, 1999.

[3] Dongsu Kim, Jong In Ryu, Hyun-Min Cho, Nam-Kee Kang, and JunChul Kim., "Implementation of a Highly Integrated Triple-Band RFFront-End Module".,Proc. Asia-Pacific Microwave Conference, p265-268, Dec 2007.

[4] M. Buchsbaum, C. Korden, E. Leitgeb, and H. Faulhaber, "Design of a high integrated triplexer using LTCC technology," in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., June 2006, pp. 378-381.

[5] P. Bradley, J. Kim, S. Ye, B. Yu, K. Grannen, D. Lee, D. Hula, and W.K. Kim., "A 6-Port Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR) Multiplexer for U.S. CDMA Handsets Permitting use of PCS, Cellband, and GPS with a Single Antenna"., Proc. IEEE Ultrasonics Symposium, p325-328, 2006.